ORCID: 0000-0001-9227-2000
Ю. В. Ніколенко
аспірант кафедри фізики, ННІ ІНФОТЕХ,
Черкаський національний університет
імені Богдана Хмельницького, Черкаси, Україна,
nikolenkoyu960@gmail.com

ORCID: 0000-0002-4680-1466
В. В. Морозович
аспірант кафедри фізики, ННІ ІНФОТЕХ,
Черкаський національний університет
імені Богдана Хмельницького, Черкаси, Україна,
vladmorozua@gmail.com

ORCID: 0000-0001-7015-1662
Ю. О. Ляшенко
доктор фіз.-мат. наук, професор, ННІ ІНФОТЕХ
Черкаський національний університет
імені Богдана Хмельницького, Черкаси, Україна,
lyashenko.yurij@gmail.com

DOI: 10.31651/2076-5851-2022-15-22 PACS 52.80.-c 02.60.-x02.70.-c, 05.70.Fh, 05.70.Ln

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ З'ЄДНАННЯ МІДНИХ КОНТАКТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕЛЕКТРОКОНДУКТИВНОГО СПІКАННЯ МІДНИХ ПОРОШКІВ

Розроблено методику та проведено аналіз технології з'єднання мідних контактів за допомогою електроіскрового спікання суміші мідного і олов'яного порошків між мідними контактними пластинами. Проведено дослідження на растровому електронному мікроскопі РЕМ-200 контактної зони експериментальних зразків після електроіскрового спікання міжконтактної зони та після термічного відпалу дослідних зразків. Встановлено, що після процесу електроіскрового спікання, утворюється однорідна контактна зона.

Ключові слова: електроіскрове спікання, мідь, олово, порошкова суміш, растрова електронна мікроскопія.

1. Вступ

Порошкова металургія та процес спікання металевих порошків відіграють ключову роль у створенні мідних електричних контактів. Вибір методу спікання критично впливає на властивості та довговічність контактної області. У сфері виробництва мідних

контактів актуальним є технологічний аналіз особливостей електроіскрового спікання порівняно з термічними методами спікання за високих температур [1, 3].

Термічне спікання мідних порошків при високих температурах часто супроводжується технологічними викликами, зокрема, проблемами з окисленням металевих поверхонь, що погіршує електричну провідність і механічну міцність мідних контактів [4]. Також, високі температури можуть спричинити зростання зерен, що веде до утворення порожнин і неоднорідностей у структурі міжзеренного простору, що знижує якість і довговічність з'єднань.

Електроіскрове спікання дозволяє зменшити негативні фактори, за рахунок більш точного контролю області нагріву і скорочення часу спікання, що важливо для забезпечення якості та однорідності контактної зони. Цей метод також знижує вплив окислення міді і запобігає небажаному росту фаз, характерному для спікання при високих температурах [5, 6].

Однією з ключових переваг спікання суміші порошків міді та олова є створення більш однорідної та міцної структури матеріалу. Під час спікання олово діє як зв'язуючий агент, що сприяє рівномірному розподілу частинок міді та зменшенню утворення порожнин у кінцевій контактній зоні. Спікання суміші порошків міді та олова сприяє покращенню електричних властивостей мідних контактів та збільшує їх довговічність. Олово, змішуючись з міддю, формує сплав з високою електропровідністю та низьким рівнем опору, що є критично важливим для ефективної роботи електричних і електронних пристроїв [7, 8]. Спікання суміші порошків міді та олова демонструє більш високу технологічну ефективність у порівнянні з термічним спіканням. Метод дозволяє досягти бажаних властивостей матеріалу за менший час і з меншими енергетичним витратами, що робить його більш прийнятним для масового виробництва.

Врешті-решт, спікання суміші порошків міді та олова зменшує екологічний вплив виробництва, знижуючи викиди CO_2 та інших шкідливих речовин, що супроводжують традиційні високотемпературні процеси спікання. Це робить процес більш відповідним до сучасних екологічних стандартів, допомагаючи виробникам зменшити вуглецевий слід технологій [9,10].

Таким чином, застосування електроіскрового спікання суміші порошків міді та олова є технологічно ефективним, приводить до економії енергії, покращення якості продукції та збільшення екологічної стійкості, що робить його важливим методом у сучасному виробництві металевих деталей та компонентів.

В роботі проведено розробку та аналіз технології з'єднання мідних контактів за допомогою електроіскрового спікання, спікання суміші порошків міді і олова що необхідно, для досягнення оптимальних характеристик міжконтактного з'єднання [11].

2. Опис експерименту

Для проведення експерименту із електроіскрового спікання суміші мідного та оловяного порошків були попередньо підготовлені мідні пластини розміром 5*5 мм. Процес шліфування і полірування мідних пластинок проходив в декілька етапів. Було використано шліфувальні круги Р180-Р2400. Після кожного етапу полірування зразки піддавались очищенню в ультразвуковій ванні. Для виготовлення зразків використовувалась суміш порошків міді та олова.

Використання обладнання для контактно-точкової зварки ТКС-1300 було ключовим у процесі виробництва мідних контактів шляхом електроіскрового спікання порошків. Застосовані параметри для цього експерименту: струм у 1300А, напруга в 2В. Контактна зона формувалася шляхом створення відповідної сендвіч-структури, де дві мідні пластини розміром 5х5 мм були розділені непровідним ізоляційним матеріалом із товщиною 250 мкм, у якому був круговий отвір з діаметром 2 мм. Цей отвір слугував контейнером для порошку, що розподілявся у ньому рівномірно. Ціль ізолятора полягала в забезпеченні проходження електричного струму лише через зону спікання, що охоплювала мідні пластини та порошок, забезпечуючи точну локалізацію протікання процесу спікання [див. Рис.1].

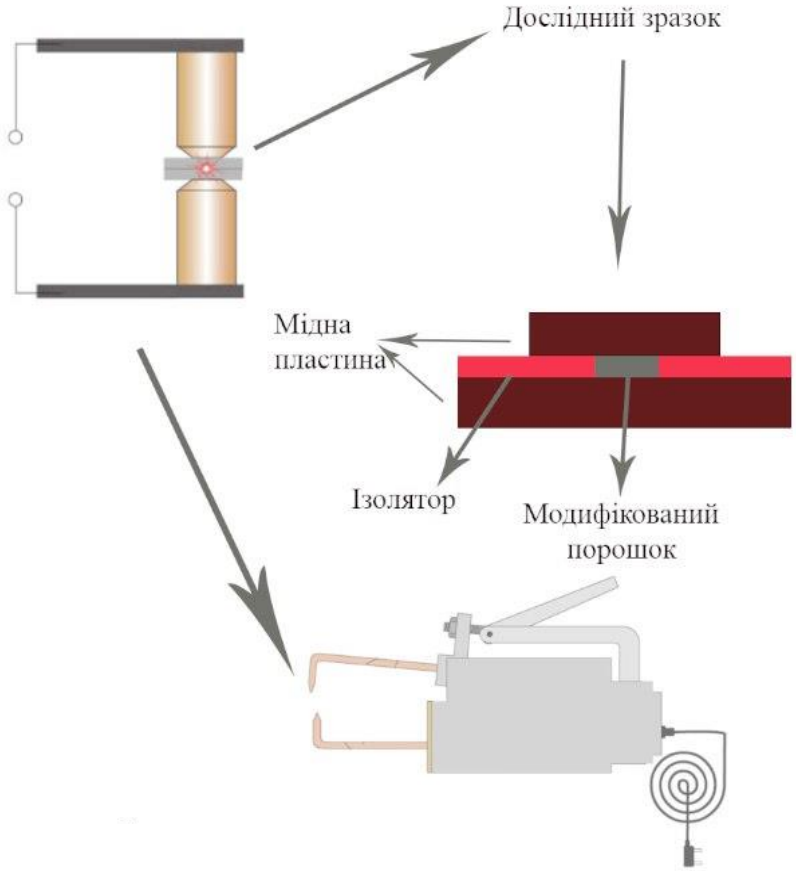


Рис. 1. Схематичне зображення процесу електроіскрового спікання

Fig. 1. Schematic representation of electric spark sintering

Процедура електроіскрового спікання для виготовлення мідних контактів проходила в кілька етапів: спочатку зразки фіксувались між електродами з легким стисненням, далі на них подавався короткочасний електроіскровий із параметрами, зазначеними раніше. Завдяки такій процедурі досягається формування зразків з високою механічною міцністю в області контакту.

3. Результати дослідження виготовлених зразків

Дослідження крос секції контактної зони експериментальних зразків після електроіскрового спікання проводилося на растровому електронному мікроскопі РЕМ-

200. Знімки контактної зони отримувались за збільшення в 30 разів (Рис. 2-3.) та 400 разів (Рис. 4).

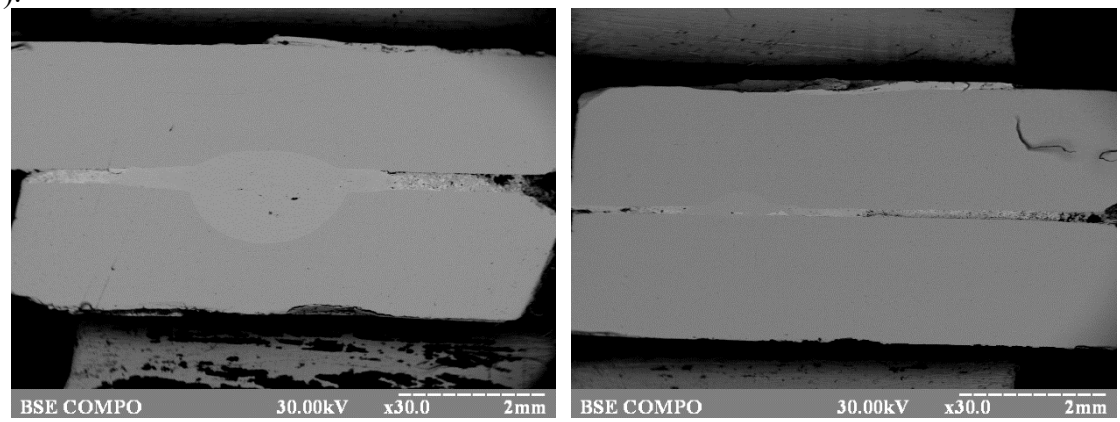


Рис. 2. СЕМ-зображення контактної зони після електроіскрового спікання.

Fig. 2. SEM image of the contact zone after electric spark sintering.

Додатково, щоб дослідити процес фазо- та пороутворення в контактній зоні, зразки було зістарено в атмосфері аргону протягом 6 годин за температури 500 ^{0}C.

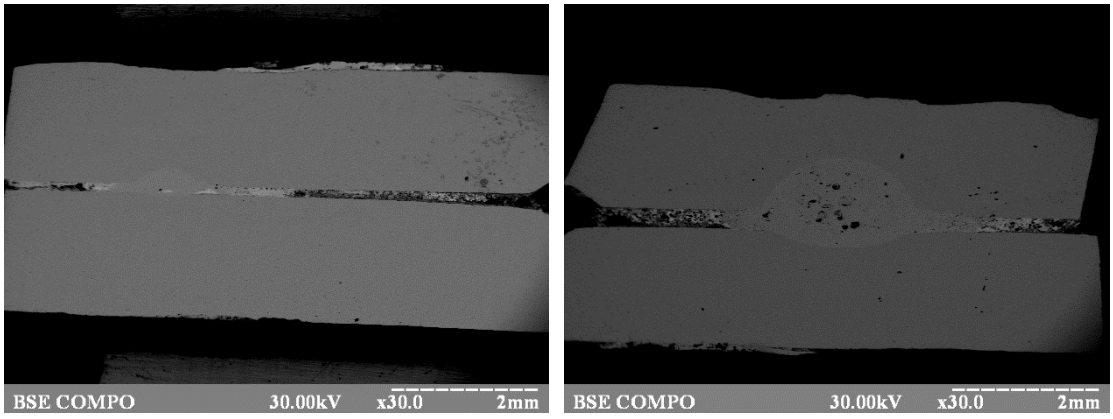
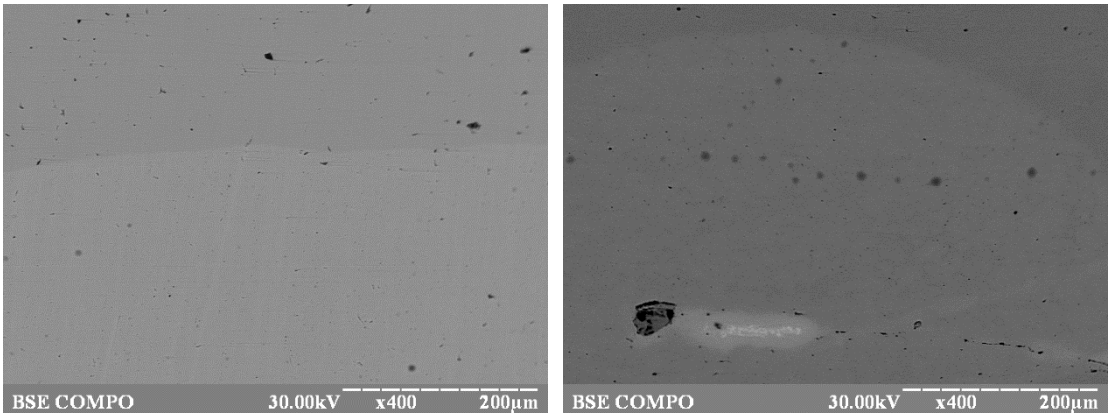
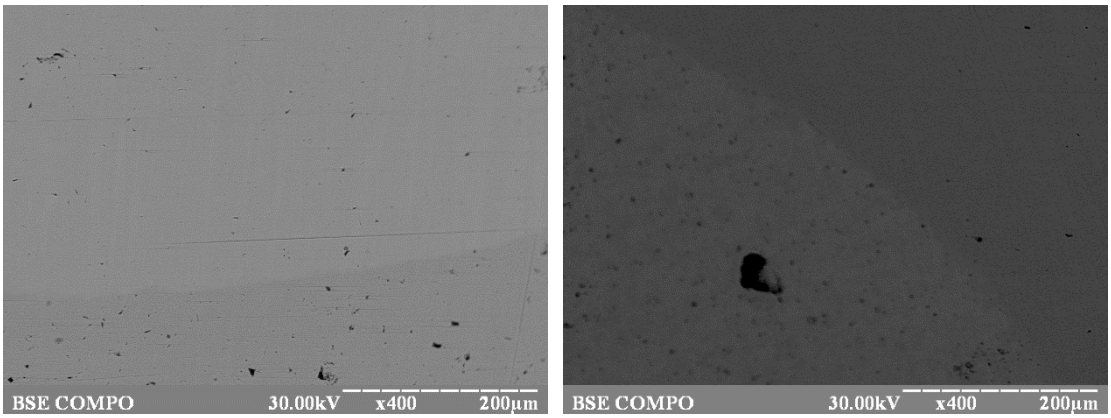


Рис. 3. СЕМ-зображення контактної зони після термічного відпалу протягом 6 годин за температури 500 ^{0}C.

Fig. 3. SEM image of the contact zone after thermal annealing for 6 hours at 500 ^{0}C.



а б



в г

Рис. 4. СЕМ-зображення контактної зони дослідних зразків після електроіскрового спікання (а,в) та після термічного відпалу (б,г)
Fig. 4. SEM images of the contact zone of the experimental samples after electric spark sintering (а,в) and after thermal annealing (б,г)

Аналіз СЕМ-зображення контактної зони дослідних зразків

Якісний аналіз СЕМ зображень на Рис. 2 та Рис. 3, дозволяє зробити висновок, що в зоні електроіскрового спікання утворюється суцільна контактна зона. Після термічного відпалу зона контакту є суцільною. На СЕМ-зображенях контактної зони дослідних зразків (Рис. 4.) із градації відтінків сірого видно, що в місці спайки утворилася двофазна зона Cu та Cu_6Sn_5.

4. Висновки

В результаті електроіскрового спікання суміші мідного та олов'яного порошків між мідними контактними пластинами утворюється однорідна контактна зона, стійка до механічних пошкоджень.

В результаті термічного відпалу протягом 6 годин за температури 500 ^{0}C можна стверджувати про те, що в контактній зоні відбувається ріст фази та зростає концентрація пустот на одиницю площі поверхні контакної зони зразка. Аналіз дифрактограм та СЕМ-зображень дозволяє зробити висновок, що в контактній зоні дослідних зразків утворюється двофазна зона Cu та Cu_6Sn_5.

Список використаної літератури:

1. Rogeon P. Characterization of electrical contact conditions in spot welding assemblies / P. Rogeon, P. Carre, J. Costa, G. Sibilia, G. Saindrenan // Journal of Materials Processing Technology. – 2008. –Vol. 195, No. 1-3. – P. 117-124.– Режим доступу: https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.04.127
2. Walker I. R. Spot welder for making small electrical contacts / I. R. Walker, C. J. Moss // Review of scientific instruments. – 1998. – Vol. 69, No. 7. – P. 2747-2756.– Режим доступу: https://doi.org/10.1063/1.1149010
3. Babu S. S. Empirical model of effects of pressure and temperature on electrical contact resistance of metals. Science and technology of welding and joining / S. S. Babu, M. L. Santella, Z. Feng, B. W. Riemer, J. W. Cohron // Science and technology of welding

and joining. – 2001. – Vol. 6, No. 3. – P. 126-132. – Режим доступу: http://dx.doi.org/10.1179/136217101101538631

4. Chang B. H. Comparative study of small scale and'large scale'resistance spot welding / B. H. Chang, M. V. Li, Y. Zhou // Science and technology of welding and joining. – 2001. – Vol. 6, No.5. – P. 273-280. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/profile/Yixiang-Zhou-/publication/233709906_Comparative_study_of_small_scale_and_'large_scale'_resistance_spot_welding/links/5db2ffe84585155e270104a5/Comparative-study-of-small-scale-and-large-scale-resistance-spot-welding.pdf
5. Wei P. S. Electrical contact resistance effect on resistance spot welding / P. S. Wei, T. H. Wu // International journal of heat and mass transfer. – 2012. – Vol. 55, No. 11-12. – P. 3316-3324. – Режим доступу: https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2012.01.040
6. Walker I. R. Further considerations on the preparation of small electrical contacts by spot welding / I. R. Walker, C. J. Moss // Review of Scientific Instruments. – 2000. – Vol. 71, No. 5. –P. 2228-2232. – Режим доступу: https://doi.org/10.1063/1.1150611
7. Feulvarch E. Resistance spot welding simulation: a general finite element formulation of electrothermal contact conditions / E. Feulvarch, V. Robin, J. M. Bergheau // Journal of Materials Processing Technology. – 2004. – No. 153. –P. 436-441.– Режим доступу: https://doi.org/10.1063/1.1150611
8. Wang S. C. Modeling dynamic electrical resistance during resistance spot welding / S. C. Wang, P. S. Wei // J. Heat Transfer. – 2001. – Vol. 123, No. 3. –P. 576-585. – Режим доступу: https://doi.org/10.1115/1.1370502
9. Na S. J. A theoretical study on electrical and thermal response in resistance spot welding / S. J. Na, S. W. Park // Welding Journal-Including Welding Research Supplement. – 1996. – Vol. 75, No. 8. – P. 233-242. – Режим доступу: https://s3.us-east-1.amazonaws.com/WJ-www.aws.org/supplement/WJ_1996_08_s233.pdf
10. Zhang X. Effect of electrical load on contact welding failure of silver tin oxide material used in DC electromechanical relays / X. Zhang, W. Ren, Z. Zheng, S Wang // IEEE Access. – 2019. – No. 7. – P. 133079-133089. – Режим доступу: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2940966
11. Ніколенко Ю. В. Вплив ультразвуку на процес хімічного осадження олова на мідний порошок / Ю. В. Ніколенко, В. В. Морозович, Ю. О. Ляшенко // Вісник Черкаського університету. Серія: «Фізико-математичні науки» – 2021. №1. – С. 90-99. Режим доступу: https://doi.org/10.31651/2076-5851-2021-90-99

References:

1. Rogeon, P., Carre, P., Costa, J., Sibilia, G., & Saindrenan, G. (2008). Characterization of electrical contact conditions in spot welding assemblies. Journal of Materials Processing Technology, 195(1-3), 117-124. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.04.127

2. Walker, I. R., & Moss, C. J. (1998). Spot welder for making small electrical contacts. Review of scientific instruments, 69(7), 2747-2756. Retrieved from https://doi.org/10.1063/1.1149010
3. Babu, S. S., Santella, M. L., Feng, Z., Riemer, B. W., & Cohron, J. W. (2001). Empirical model of effects of pressure and temperature on electrical contact resistance of metals. Science and technology of welding and joining, 6(3), 126-132. Retrieved from http://dx.doi.org/10.1179/136217101101538631
4. Chang, B. H., Li, M. V., & Zhou, Y. (2001). Comparative study of small scale and'large scale'resistance spot welding. Science and technology of welding and joining, 6(5), 273-280. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Yixiang-Zhou-2/publication/233709906_Comparative_study_of_small_scale_and_'large_scale'_resistance_spot_welding/links/5db2ffe84585155e270104a5/Comparative-study-of-small-scale-and-large-scale-resistance-spot-welding.pdf
5. Wei, P. S., & Wu, T. H. (2012). Electrical contact resistance effect on resistance spot welding. International journal of heat and mass transfer, 55(11-12), 3316-3324. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2012.01.040
6. Walker, I. R., & Moss, C. J. (2000). Further considerations on the preparation of small electrical contacts by spot welding. Review of Scientific Instruments, 71(5), 2228-2232. Retrieved from https://doi.org/10.1063/1.1150611
7. Feulvarch, E., Robin, V., & Bergheau, J. M. (2004). Resistance spot welding simulation: a general finite element formulation of electrothermal contact conditions. Journal of Materials Processing Technology, 153, 436-441. Retrieved from https://doi.org/10.1063/1.1150611
8. Wang, S. C., & Wei, P. S. (2001). Modeling dynamic electrical resistance during resistance spot welding. J. Heat Transfer, 123(3), 576-585. Retrieved from https://doi.org/10.1115/1.1370502
9. Na, S. J., & Park, S. W. (1996). A theoretical study on electrical and thermal response in resistance spot welding. Welding Journal-Including Welding Research Supplement, 75(8), 233-242. Retrieved from https://s3.us-east-1.amazonaws.com/WJ-www.aws.org/supplement/WJ_1996_08_s233.pdf
10. Zhang, X., Ren, W., Zheng, Z., & Wang, S. (2019). Effect of electrical load on contact welding failure of silver tin oxide material used in DC electromechanical relays. IEEE Access, 7, 133079-133089. Retrieved from https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2940966
11. Nikolenko, Yu. V., Morozovych, V. V., Lyashenko Yu. O. (2021). Effect of ultrasound on the process of chemical deposition of tin on copper powder. *Visnyk Cherkaskoho Universytetu. Seriia «Fizyko-Matematychni Nauky»* (Bulletin of Cherkasy University. Series "Physics and Mathematics"), (1), 90-99. Retrieved from https://doi.org/10.31651/2076-5851-2021-90-99

Yu. V. Nikolenko
Post-graduate student of the Department of Physics,
The Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy, Cherkasy, Ukraine,
nikolenkoyu960@gmail.com

V. V. Morozovych
Post-graduate student of the Department of Physics,
The Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy, Cherkasy, Ukraine,
vladmorozua@gmail.com

Yu. O. Lyashenko
doctor of physical and mathematical sciences, professor,
Educational-Scientific Institute of Informational and Eduational Technologies
The Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy, Cherkasy, Ukraine,
lyashenko.yurij@gmail.com

DEVELOPMENT OF A TECHNOLOGY FOR CONNECTING COPPER CONTACTS BY MEANS OF ELECTROCONDUCTIVE SINTERING OF COPPER POWDERS

Powder metallurgy and the sintering of metal powders play an important role in the production of copper contacts. However, the choice of sintering method has a significant impact on the quality and reliability of the contact zone. In the context of copper contact production, it is particularly important to consider the advantages of electrospark sintering compared to traditional temperature sintering methods

This article focuses on the development and analysis of the technology for joining copper contacts using electrospark sintering of mixture of copper and tin powders to achieve optimal interconnect characteristics. In this article, a scanning electron microscope (SEM-200) was used to examine the contact zone of the experimental samples after electric spark sintering. It was found that after the electrospark sintering process, a stable contact zone is formed in the case of copper and copper-tin powders.

From the results of the analysis of the contact zone, it can be said that after thermal annealing exist the intermediate phase growth and pore formation, the concentration of voids per unit surface area of the contact zone.

Key words: electric spark sintering, copper, tin, powder mixture, scanning electron microscopy.

Одержано редакцією 02.09.2022
Прийнято до друку 15.10.2022